

⑩ 日本国特許庁 (JP)  
⑫ 公開特許公報 (A)

⑪ 特許出願公開

昭57-49332

⑬ Int. Cl.<sup>3</sup>  
H 02 J 3/14  
G 05 F 1/66

識別記号

庁内整理番号  
7926-5G  
6945-5H

⑭ 公開 昭和57年(1982)3月23日  
発明の数 3  
審査請求 未請求

(全 8 頁)

⑮ 交流電力供給システム及びその負荷の制御方法と装置

⑯ 特 願 昭56-109905

⑰ 出 願 昭56(1981)7月13日

優先権主張 ⑱ 1980年7月14日 ⑲ イギリス (GB) ⑳ 8023007

㉑ 発 明 者 ロバート・アーラン・ペディ  
イギリス国イングランド・サ  
レイ・アールエイチ2オーイー  
ゼット・レイゲート・マウント  
・ドライブ5番

㉒ 発 明 者 ジョン・スペンスレイ・フイー

ルデン

イギリス国イングランド・デヴ  
オン・オタリイ・セント・マリ  
イ・ホームヴァイレ(番地の表示  
なし)

㉓ 出 願 人 サウス・イースタン・エレクト  
リシティ・ボード

イギリス国イングランド・サセ  
ックス・ビーエヌ3 2エルエ  
ス・ホーヴ・クウィーンズ・ガ  
ーデنز(番地の表示なし)

㉔ 代 理 人 弁理士 青山葆 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

交流電力供給システム及びその負荷の制御方法と装置

2. 特許請求の範囲

(1)複数の消費者の各々に対して、電力供給周波数が所定の周波数以下に低下したことを検知する段階と、上記所定の周波数以下への周波数の低下を検出することに応じて上記各々の消費者によつてとられる少なくとも一部の負荷への電力供給を中絶することの段階とを有することを特徴とする系統への発生電力容量を越える電力需要に対して交流電力供給系統を保護する方法。

(2)各々の消費者に対して、供給電力の周波数が上記所定の周波数以上に上昇したとき、上記少なくとも一部の負荷が電力供給源に再結合される特許請求の範囲第1項に記載の方法。

(3)電力供給周波数が所定の周波数以下に低下した時を検知することが、供給周波数に発振器を同期させるために構成された位相固定ループからの信

号を用いることによつて行なわれる特許請求の範囲第1項に記載の方法。

(4)上記所定の周波数は、各消費者毎に明確な周波数の相違をとみなうように割り当てられた所定の周波数帯域内の周波数である特許請求の範囲第1項に記載の方法。

(5)消費者に対する負荷の開閉は周波数が第1の値に低下したとき一部の負荷をしや断し、周波数が第2の低い値に低下したとき後続の負荷をしや断するように2あるいはそれ以上の段階で行なわれる特許請求の範囲第1項に記載の方法。

(6)複数の消費者に電力を供給するように構成された電力発生手段を有する交流電力供給システムであつて、少なくともいくつかの消費者は、各々電力供給周波数が所定値以下に低下したことを検出する検出手段と、所定値以下に周波数が低下したことを検出したことに応じて少なくとも一部の消費者の負荷を電源からしや断するスイッチ手段とを備えた交流電力供給システム。

(7)上記少なくともいくつかの消費者の各々が、そ

の消費者用のスイッチ手段が電力供給源を中断するように駆動された上記所定の周波数以上に供給周波数が上昇したことを検知することに応じて電力供給源に少なくとも一部の消費者の負荷を再投入する手段を有する特許請求の範囲第6項に記載の交流電力供給システム。

(8) 電力供給周波数が所定値以下に低下したことを検出する手段は発振器の出力を入力電源の位相に同期して保持する位相固定ループを備え、該位相固定ループは供給周波数が上記所定値よりも高いとき同期を保つように作動し、さらに位相固定の喪失を検出する手段をも備えた特許請求の範囲第6項に記載の交流電力供給システム。

(9) スイッチ手段がソリッドステートスイッチである特許請求の範囲第6項に記載の交流電力供給システム。

(10) 負荷に供給される交流電力の周波数にตอบสนองする手段と、負荷に供給する電力を制御するスイッチ手段とを備え、上記スイッチ手段は周波数にตอบสนองする手段によって検出された周波数が所定値以

下になったときしや断するようにしたことを特徴とする交流電力系統からの電力を用いる消費者に用いる制御装置。

(11) 供給周波数が所定値以下に低下したことを検出する手段は主入力に位相同期した発振器の出力を保持するための位相固定ループを備え、上記位相固定ループは供給周波数が上記所定の周波数以上であるとき同期を保持するとともに、位相固定が喪失したことを検出する手段を備えた特許請求の範囲第10項に記載の装置。

(12) 電力供給源の周波数が上記所定の周波数以上の値に上昇したとき、上記負荷への電力供給を自動的に回復する手段を備えた特許請求の範囲第10項に記載の装置。

(13) スイッチ手段は消費者の負荷の一部への電力供給を制御するとともに、異なつた周波数で、その消費者の負荷の他の部分への電力供給を制御するスイッチを有する特許請求の範囲第12項に記載の装置。

### 3. 発明の詳細な説明

本発明は、商用電力供給システムおよびその負荷を制御する方法および装置に関するものである。

近年、電力需要が供給を上回ること起因する長時間にわたる停電が、世界各地で頻繁に起こっている。このような停電は、システムが強固に相互連結されていない場合、また、例えば供給線の一線の故障が広範な地域の電力源に影響を与えるようなシステムの場合に特に起こりやすい。このような停電が起きると、他の地域の発電所は、接続を保つまま負荷を供給し続ける結果、過負荷状態となる。この場合、累積的かつ急速に過負荷状態となるため、直ちにサーキットブレーカを開いて負荷をしや断しなければならない。通常ブラックアウト (blackout) と呼ばれるこのような電力損失が、近年各地でしばしば見られる。

電力会社から制御信号を伝送して負荷の選択切換を行ない、消費者側の電力需要を制御して、重要性の少ない負荷の選択切換による需要の削減を行なうべく、様々な負荷調整システムが提案されている。しかしながら、上述のブラックアウトを

防ぎ得るほどに確実な技術はこれまでに開発されていない。

本発明の目的の一つは、交流電力供給システムを上記ブラックアウトから保護するための方法および装置を提供することである。

本発明は、発電所の交流発電機が過負荷状態になった際の供給周波数の低下を利用するものである。

本発明による、交流電力供給システムを発電容量を越える電力需要から保護する方法は、複数の各電力消費者毎に、電力供給周波数の所定値以下への低下を感知し、感知された該所定値以下への周波数の低下に応じて前記各電力消費者側の負荷の少なくとも一部をしや断するものである。望ましくは、各電力消費者側において、前記負荷の少なくとも一部は、供給周波数が前記所定値またはより高い周波数以上に増加すると、電力源に再投入される。

本発明の方法においては、周波数が所定値以下になると、直ちに負荷が自動的にしや断される。

すべての電力消費者が同一の所定周波数を使用する必要はない。通常、系統の電力供給容量が系統に投入されている負荷の需要に見合っている場合には、系統が安定状態となるように負荷のしや断 (Shed) が即時的ではなく一定短時間を越えて行なわれることが望ましい。さらに、系統の過負荷状態を防止するためには、負荷の自動再投入が徐々に行なわれることが望ましい。従つて前記周波数の設定値は一定の周波数帯域内で異なる消費者に対しては異なる厳密な周波数の値が割り当てられるようにするとよい。実際上の系統における厳密な作動周波数は、消費者によつてわずかながら必然的に相違する。供給周波数が 50 Hz の場合、電力消費者側の負荷は 46.5 ~ 48.5 Hz の範囲内でしや断されるように調整してよい。従つて、周波数が低下すると、何割かの電力消費者については周波数が 48.5 Hz まで下がった時点で負荷がしや断され、周波数がさらに下がると、次第にスイッチが開になり、周波数が 46.5 Hz まで低下すると全電力消費者またはほとんど全電

力消費者に電力が供給されなくなる。

周波数が増加すると電力供給が自動回復することが望ましく、また、スイッチの開閉を防ぐ余裕を残すためには、周波数値が供給のしや断された時点での周波数値よりもわずかに高くなつた時点で電力供給を電力消費者ごとに回復させるべきである。

電力消費者の負荷の開閉は二つまたはそれ以上の段階を経て行なわれるようにしてもよく、即ち周波数が第1の値まで下がると負荷の一部がしや断され、周波数が第2のより低い値まで下がると、負荷はさらにしや断される。

全部またはほとんど全部の電力消費者側の電力が上記のような方法で制御されるのが望ましいことは明白であるが、病院、人工腎臓装置 (Kidney machines) 等の優先的負荷は、周波数低下が起こつても電力供給源への接続状態を維持できるように安全装置を設けることも可能である。制御手段は個々の電力消費者と組合わされていて、必要に応じて個々の負荷と組合わせることも可能なの

で、前記のような優先的設備を設けることができるのである。

本願発明者らの日本国特許願昭和55年第1991号 (出願日：昭和55年1月10日) 等によつて、データ処理を制御し、入力主供給周波数に同期するクロックを有するデータ処理手段を利用して、交流電力を供給された消費者によるエネルギー消費量の測定を行なうことが提供されている。このようなシステムは、クロック周波数を入力主周波数に同期させるために位相固定ループを利用しており、入力主周波数またはその主周波数とデータとのずれを示す信号が発生する。この信号を、電力消費者側の負荷供給をしや断する前述のスイッチの制御に利用してもよい。位相固定ループは、通常、一定の周波数範囲内でしか作動しないため、位相固定ループが周波数の低下によつて位相同期を維持できなくなつた時点で負荷をしや断するようにスイッチ手段を作動させるとよい。位相固定ループが同期を維持できなくなると、位相誤差が急速に増加するので、この信号をスイッチ制御に

利用するとよい。

本発明による、複数の消費者に電力を供給する発電手段を有する交流電力供給システムにおいては、電力消費者の少なくとも何割かが、それぞれ、電力供給周波数の所定値以下への低下を感知する手段と、感知された前記所定値以下への周波数の低下に応じて消費者の負荷の少なくとも一部への電力供給をしや断すべく各消費者ごとに調整されるスイッチ手段とを有している。

前記少なくとも何割かの消費者は、それぞれ、その消費者の負荷の前記少なくとも一部を、供給周波数が、前記スイッチ手段が供給をしや断すべく作動した前記所定値またはより高い周波数値以上に増加するのに応じて再投入すべく作動する手段を備えてもよい。

上記スイッチ手段は、電力消費者の負荷の一部のみへの供給を制御するものであり、周波数が該第1のスイッチ手段が作動する値よりもさらに低下した場合にこれに感応して作動する第2のスイッチ手段を設けてもよい。

これら制御スイッチ手段はソリッドステートスイッチであることが望ましく、他の目的に利用されるスイッチ、例えば最大需要を制限する自動制御スイッチであつてもよい。このように、電力需要が発電容量を上回ることによるブラックアウトから供給システムを保護するには、すでに他の目的で取り付けられている設備にわずかの部品を追加するだけで十分であることは明白である。

前記スイッチ手段はソリッドステートスイッチを備えていると都合がよい。供給電力の周波数に感応する手段は、発振器と、該発振器の出力を入力主電源と同期させる位相固定ループとを備えていることが望ましく、該位相固定ループは、供給システムの名目上の周波数付近の周波数帯域で位相固定を維持するが、周波数が所定値以下に下がると位相固定を解除すべく作動する。この場合、スイッチ手段は、ループの位相固定解除に感応するようにしてもよい。

以下にこの発明の実施例を図面とともに説明する。

電力需要を招来するような重大な故障において消費者の負荷への電力供給を中断するためのスイッチの運転に関する。前述したように、この事態が生じた時、供給電力の周波数は直ちに低下し始める。

説明を容易にするために、以下の記述は、具体的に定格周波数が50 Hzの電力供給系に関係して説明する。これは他の周波数、例えば60 Hzの周波数の電力供給においても同様な構成がとられることは容易に理解される。

消費者側の設備は情報のデジタルデータ処理のためクロック（時計装置）を含み、このクロックは入力主電源と常時同期している。このクロックは主供給周波数の倍数、典型的には主供給周波数の数千倍である周波数において動作する電圧制御型発振器40を本質的に含む。デジタル信号である発振器40の出力は例えば電圧の瞬間的な大きさと電流の波形をサンプリングするためにそしてそれによつて消費者のエネルギー消費を決定する計量手段43のためのデータを供給するため

電力分配回路網13で結合された発電所あるいは変電所（以下単に発電所という。）10、11、12を有する発電系統が第1図に示される。電力回路網13は多数の電力消費者に電力を供給する。そのうちの3個の電力消費者を20、21、22で示す。消費者21、22は単に図形的に示されるが、消費者20は少し詳細に示され、複数の負荷32、33、34に接続される2本の配線30、31によつて単相電力が供給される。この実施例では、負荷32及び33は消費者20の主負荷を構成する。一方、負荷34は例えば電力回路網13を発電所10へ結合する電力ライン15における損傷あるいは中断による「ブラックアウト」に対して系統を保護する時にもし可能ならば停電しないで給電されることを要する特有の目的を有する小さな負荷を表わす。ソリッドステートスイッチ36は負荷32、33へ電力を供給するために設けられ、このスイッチは配線37で送られるスイッチ制御信号によつて制御される。

この発明はとくに系統の発生電力容量を越える

にサンブラ42へ短い継続期間のパルスを提供するためにデジタル分周器41によつて短い継続期間のパルスに分周される。分周器41は主供給周波数を有するパルス幅の短かいパルスを出力し、そのパルスのそのタイミングは配線30、31上の入力電圧波形の電圧零交叉点における短い継続期間のパルスのタイミングと比較器44において比較される。この目的のために、比較器ユニット43に電圧波形を供給する出力巻線を有する変圧器45が配線30、31間に設けられる。比較器43によつて決定される時間差は配線46上で分周器41からのクロックパルスを用いてデジタル的に計測され、そして、そのデジタル出力はクロック周波数と入力波形周波数との間の位相誤差を表わす計測値である。この位相誤差は電圧制御型発振器40のための制御信号を配線48上に供給するための積分器47においてデジタル的に積分される。このような位相制御装置は発振器40の周波数を制御するために動作する。したがつて、その発振器40の出力は入力波形とその位

相が同期している。比較器43からの出力上の位相誤差は同期が保たれている限り通常小さい。もし、同期が外れると位相誤差は増大する。位相同期の喪失は、例えば積分器47からの出力信号のレンジを制限することによつて、入力周波数が所定の値だけ低下したとき生起するように構成できる。位相誤差の突然の増大を示す信号は制御ユニット50へ印加され、該制御ユニット50は負荷32、33への供給を中断するためにスイッチ36を動作させるための制御信号を配線37上に発生する。

主供給電力の周波数の減少を検出し、スイッチを動作させるための他の多くの可能な方法があることが理解される。

第2図は位相固定発振器の特定の状態における位相差(縦軸にプロット)と周波数(横軸にプロット)との間の関係を曲線60で示す。周波数が低下するにしたがつて発振器の出力は主電源の入力電圧波形よりも徐々に遅れる。49Hzの周波数において、位相誤差は8°である。位相誤差は前

述の電圧制御発振器40へ印加される制御信号を示す。装置のデザインに依存して特定の位相誤差が生じたとき、位相固定ループは入力波形で位相固定を与えるための周波数をもはやホールドし得なくなる。これが生じたとき、比較器43によつて決められる位相差は増加しそしてスイッチ36が動作する。

一般に、すべての消費者は第1図の消費者20として示されるように、周波数が低下すると負荷をカットオフするような制御装置を備えるべきである。異なつた消費者のための個々の位相固定装置における要素の特性のバラツキによつて個々のスイッチ36が動作するための周波数にある広がりが生じることは不可避である。典型的な系統において、その広がりには2Hz以上であり、例えば、46.5Hzから48.5Hzにおいて、周波数が中間値47.25Hzに低下したとき半数の消費者が停電する。第2図において、曲線65は周波数のレンジにおいて特定の周波数において位相固定を喪失する消費者の比率を示す分配曲線である。48.5

Hz以上の周波数で全ての消費者が位相固定の状態にあるが、周波数が46Hzに低下すると約5%の消費者だけ、位相固定される。この曲線はある消費者あるいはある独立の負荷が周波数の低下によつてもスイッチオフされず、電源が供給されることを示す。ある消費者は他よりも大幅に低い周波数に低下しても位相を保持するようにセットされる位相固定ループを有する。

発電系統において、全体的な停電が生じた場合には、結果として生じる周波数の低下が直ちにいくつかの消費者のスイッチ36をしゃ断して負荷を減少させる。一般に、ある顯著な量の発生電力容量が未だ残っていることを条件として、系統の安定度を十分に保持するために負荷の低減が急速に行なわれる。

もし発電容量が回復したならば、あるいは、もし、電力が供給されている負荷がしゃ断されるならば、系統の周波数は上昇する傾向を有する。周波数が十分に高くなると消費者20用の上述の位相固定ループで、位相同期は再び確立され、その

ため制御ユニット50への信号は除去される。一般に、スイッチ36を閉じることによつて負荷への電力供給の自動的な回復は制御ユニット50によつて行なわれる。しかしながら、ある負荷への電力供給が自動回復され、他の負荷に対しては手動リセットスイッチによつてのみ電力供給の回復がなされるように構成されることもある。制御ループに内在するヒステリシス効果の故に、電力供給の回復が生じるときの周波数は電力供給がしゃ断されるときよりも高い。考慮されている特定の実施例において、破線で示す曲線66は、周波数の上昇にしたがつて種々の異なる周波数で電力が回復した消費者の数を示す。最後の負荷が回復するまでに少なくとも49.5Hzに周波数が上昇しなければならないことが注目される。しかしながら、負荷の回復は周波数が上昇し始めると直ぐに開始される。

発明の上述の実施例において、クロック信号発生器と入力波形との間の位相固定を保持するための位相固定ループの位相固定の喪失をスイッチン

グを制御するために利用した。このようなクロック信号発生器を制御する位相固定ループは、例えば特許願昭和55第1991号の明細書に記載されるように、個々の消費者の電力消費を計量するための装置の一部分を形成する。スイッチ36は、例えば自動最大需要量調節装置を利用して消費者による最大需要の自動調整のために負荷管理のためにも用いられるスイッチである。例えば、発電容量の突然の喪失による大規模なブラックアウトに対する系統の保護が、他の目的のために設置される消費者側の構内装置にわずかな装置を追加するだけで得られることが明白である。系統の保護は、消費者の構内装置におけるスイッチングによつて得られる。伝送ラインに沿つて信号を送ることは必要ではなく、発電所においてあるいは消費者の構内における装置から離れた回路網上で何らかの特別な装置を備える必要はない。

第3図に第1図の装置の一部分の変形した態様を示す。この場合、消費者の構内における一部の負荷のしや断が2段階で生じる。第3図において、

相当する構成要素を示すために第1図と同じ参照記号が用いられ、第3図の特徴とする部分のみについて記述する。消費者は優先度の低い別の負荷70を有する。この負荷70への電力供給をしや断するためのトライアックスイッチ71が、基準電圧源73からの基準電圧と比較器44からの電圧出力とを比較する比較器72によつて制御される。この基準電圧は、周波数が正常な供給周波数とスイッチ36が動作する周波数の間の前もつて定められた中間値に低下したとき、スイッチ71が負荷70への電力供給をカットするために動作するように選択される。多くの消費者により、この方法で部分的に負荷をしや断することはより以上の周波数低下を防止するために十分であるが、スイッチ36は電力網の重大な過負荷の事態において操作される。

#### 4. 図面の簡単な説明

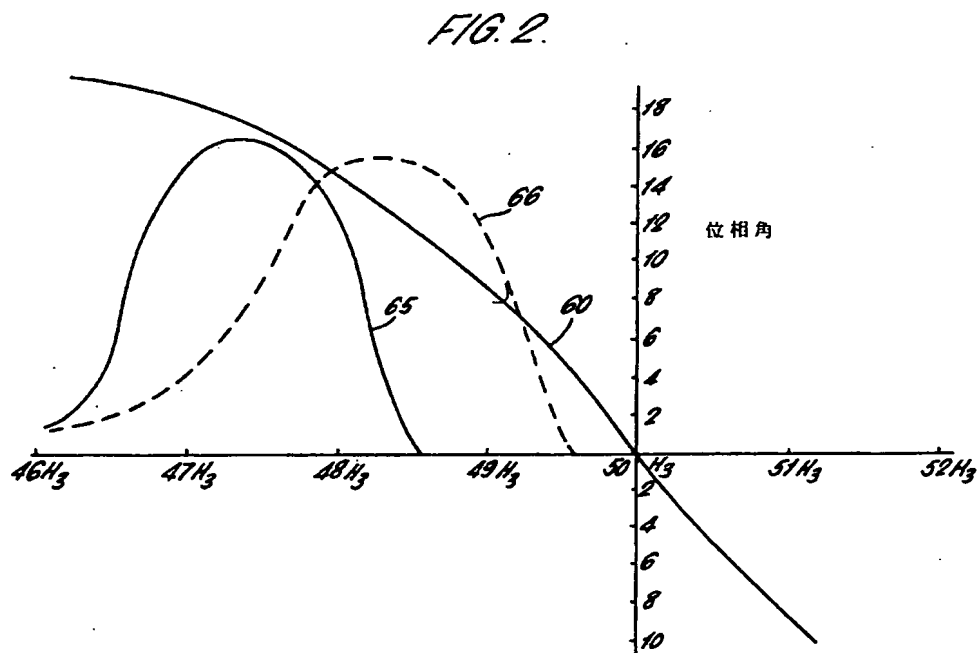
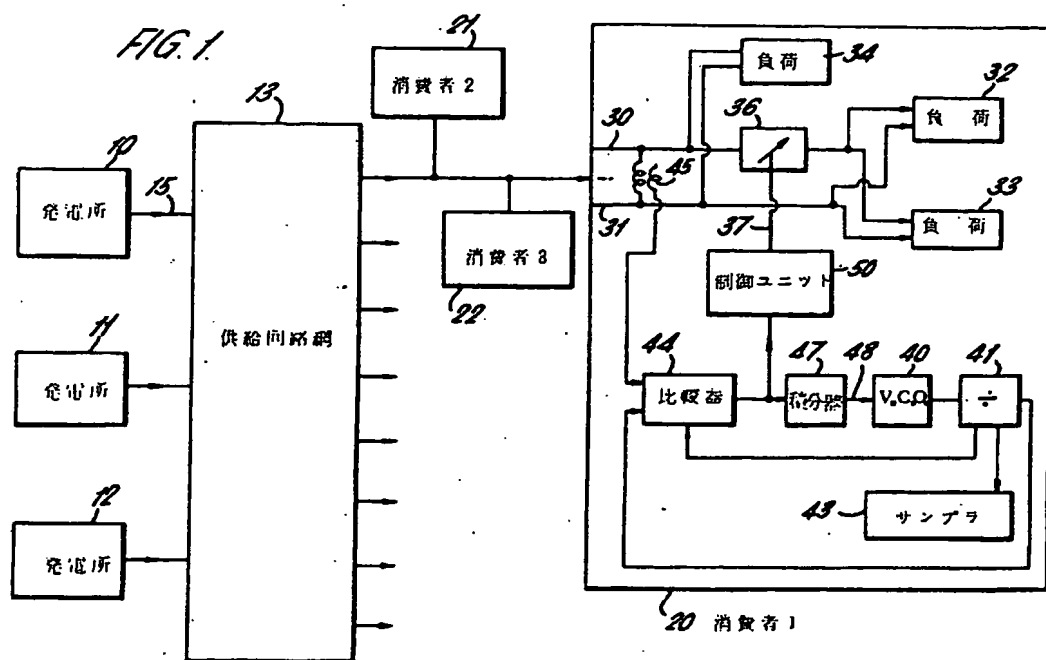
第1図は、電力消費者に交流電力を供給する電力供給システムの一部および本発明の一実施例を示すブロック線図、第2図は、第1図の装置の一

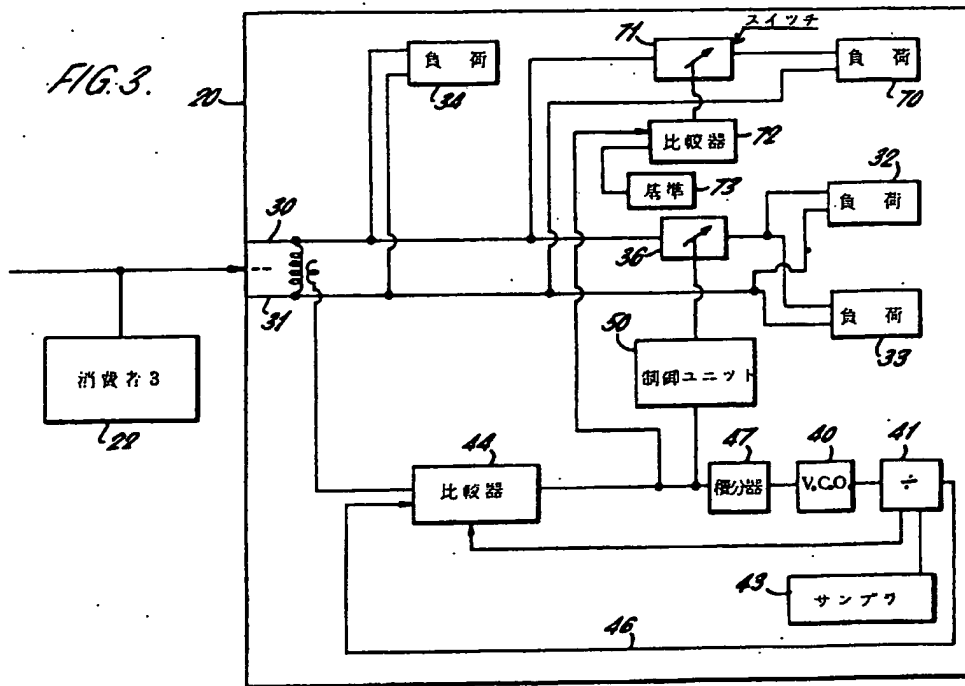
部の作動状態を示す図、第3図は、第1図の装置の別の態様を示す図である。

- 10, 11, 12 - 発電所
- 13 - 電力回路網
- 15 - 電力ライン
- 20, 21, 22 - 電力消費者
- 32, 33, 34 - 負荷
- 36 - ソリッドステートスイッチ
- 40 - 電圧制御型発振器
- 43 - 比較器
- 47 - 積分器

特許出願人 サウス・イースタン・エレクトリシテイ・  
ボード

代理人 井理士 青 山 孫 外1名







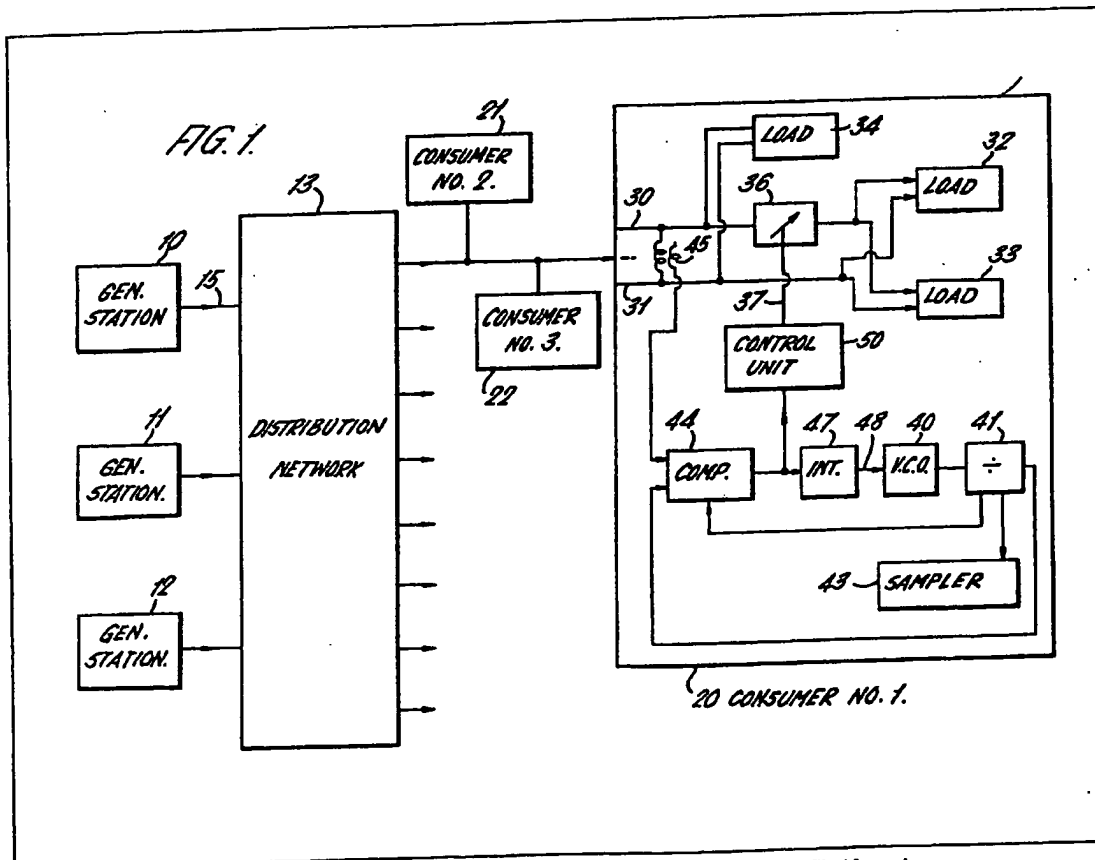
(12) UK Patent Application (19) GB (11) 2 080 640 A

(21) Application No 8023007  
 (22) Date of filing 14 Jul 1980  
 (43) Application published 3 Feb 1982  
 (51) INT CL<sup>3</sup>  
 H02J 3/00  
 (52) Domestic classification  
 H2H SL  
 (56) Documents cited  
 GB 713452  
 GB 712850  
 GB 712824  
 GB 695816  
 GB 629359  
 GB 553183  
 GB 367512  
 (58) Field of search  
 H2H  
 H3A  
 (71) Applicants  
 South Eastern Electricity  
 Board,  
 Queen's Gardens,  
 Hove,  
 Sussex, BN3 2LS.

(72) Inventors  
 Robert Allan Peddie,  
 John Spensley Fielden.  
 (74) Agents  
 Boulton, Wade & Tennant,  
 27 Fumival Street,  
 London, EC4A 1PQ.

(54) Power supply systems

(57) For safeguarding an alternating current electrical power supply system against a blackout due to overloading, particularly on a system which is not strongly interconnected, each consumer (20, 21, 22) is provided with means sensing when the supply frequency falls below a predetermined frequency, these means controlling switching devices (36) for interrupting the power to at least part of the load taken by each consumer. The sensing means conveniently comprises a control unit (50) responsive to the loss in phase lock of an oscillator (40) locked to the incoming supply frequency and forming for example part of an energy metering device. Provision is made for automatic restoration of the supply to loads when the frequency increases to another predetermined value.



GB 2 080 640 A

1/3

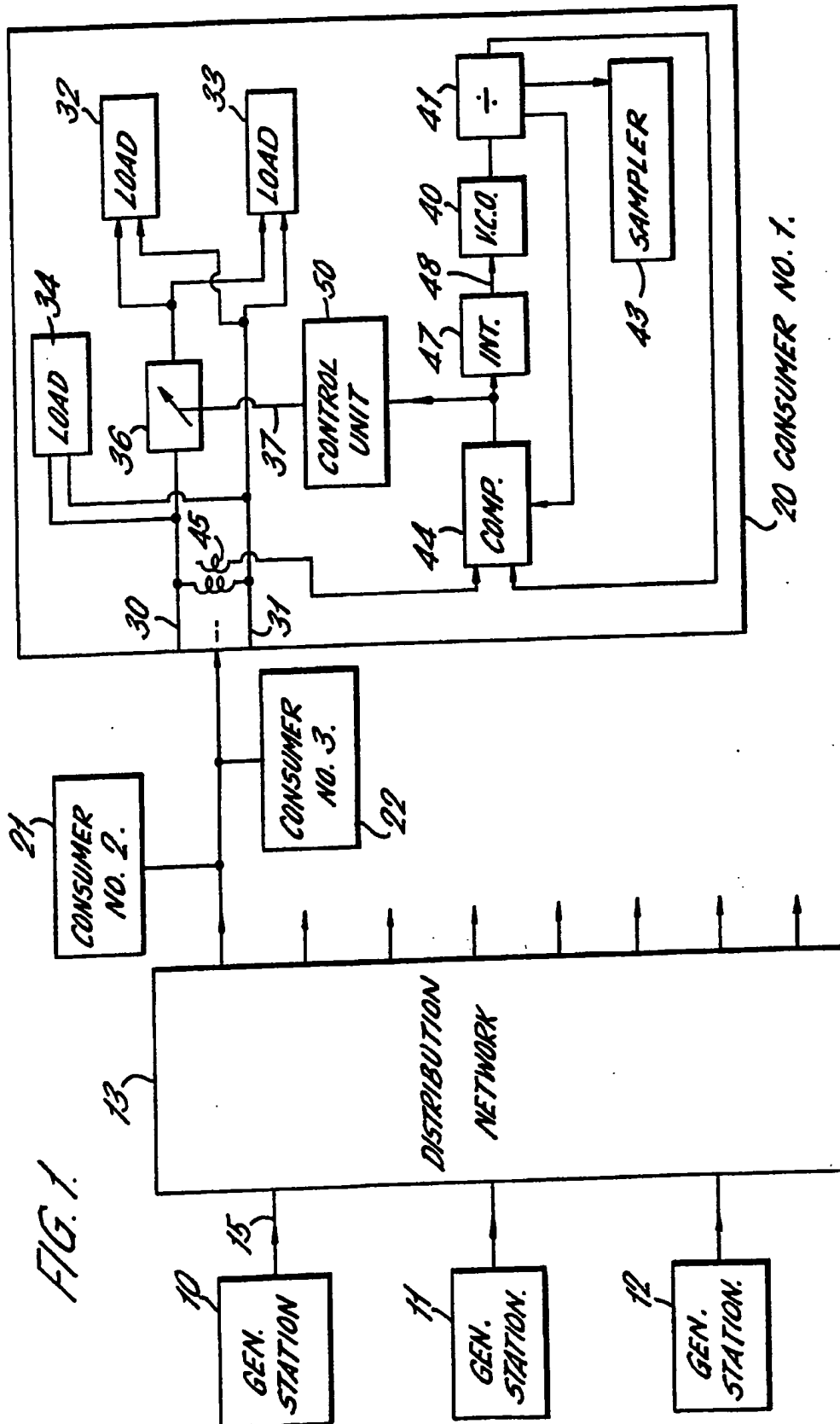
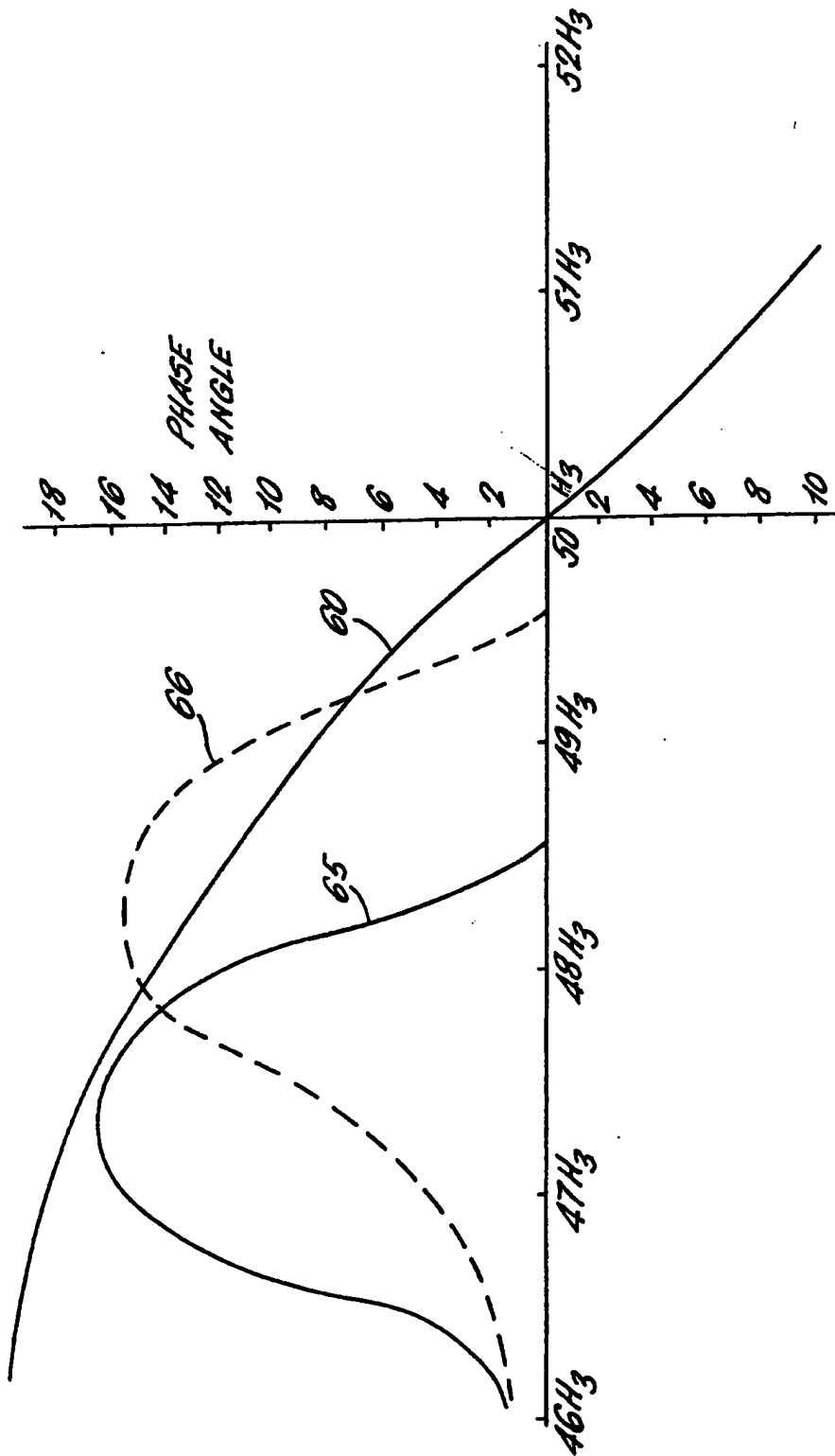
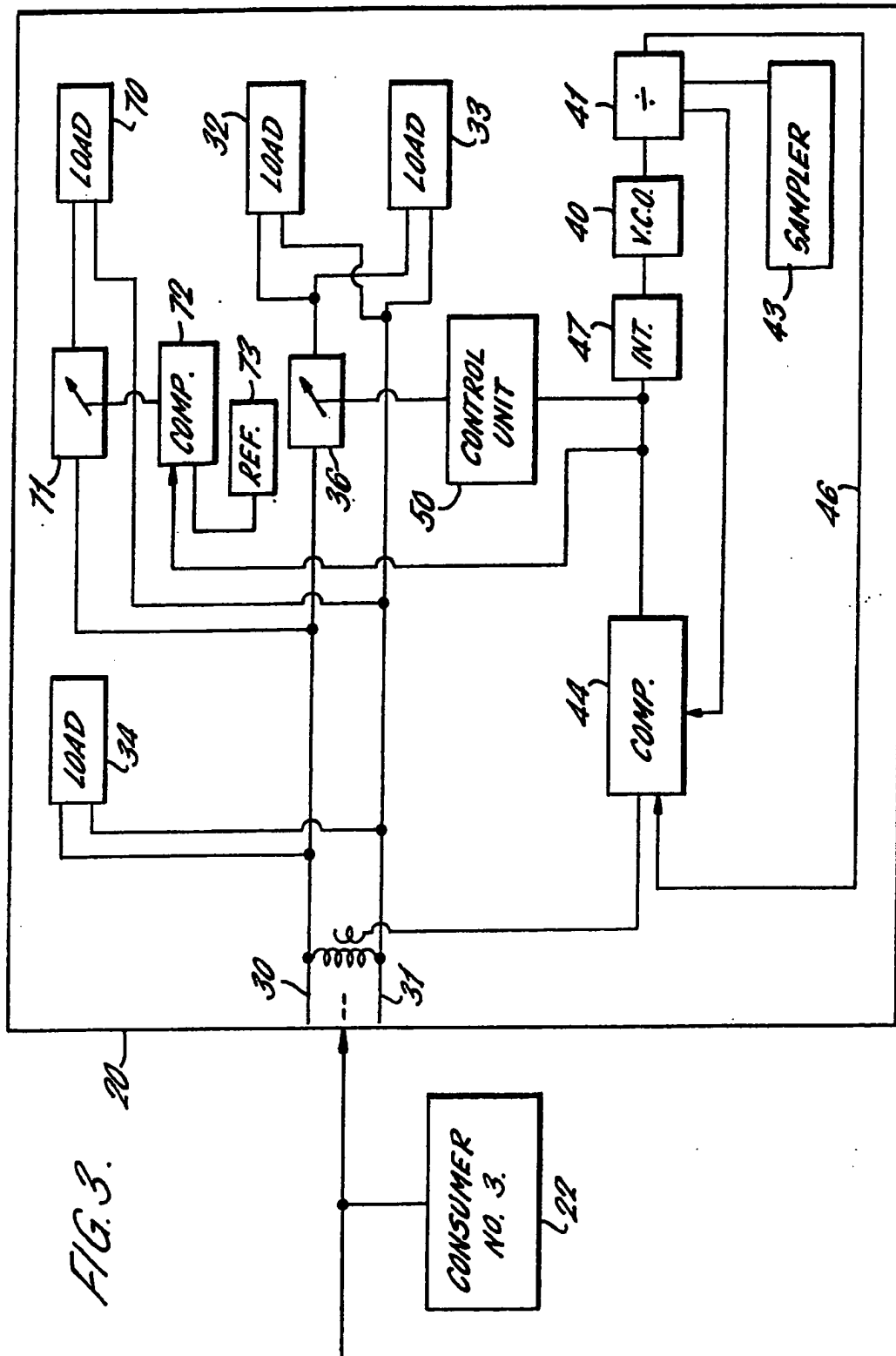


FIG. 2.





## SPECIFICATION

**A.C. electricity power supply system and methods of and apparatus for load control thereon**

This invention relates to a.c. electricity power supply systems and to methods of and apparatus for controlling the load thereon.

In some parts of the world, there have in recent years been widespread power failures lasting many hours arising from the power demand exceeding the supply. Such failures can occur particularly in systems which are not strongly interconnected and where, for example, damage of a single supply line has deprived a wide area of a substantial source of power. When this happens, the other generating stations which still remain connected to supply the load become over-loaded. The frequency of the supply drops.

The overloading is thus accumulative and rapid with the consequent necessity for immediate opening of circuit breakers to disconnect the load. In recent years widespread loss of power of this nature, commonly referred to as a blackout, has occurred both in France and the United States.

It is one of the objects of the present invention to provide an improved method of and apparatus for safeguarding an alternating current electric power supply system against such a blackout.

According to one aspect of the present invention, a method of safeguarding an a.c. electric power system against the effects of the power demand on the system exceeding the generating capacity comprises the steps of, for each of a plurality of consumers, sensing when the power supply frequency falls below a predetermined frequency and interrupting the power supply to at least part of the load taken by each said consumer in response to a sensed fall of frequency to below said predetermined frequency. Preferably, for each consumer, said at least part of the load is reconnected to the supply when the supply frequency rises above said predetermined frequency or above a higher frequency.

With this method, automatic disconnection of loads occurs as soon as the frequency drops below some predetermined value. It is not necessary to use the same predetermined frequency for every consumer. In general it is preferable that the load shedding is not instantaneous but occurs over a short period of time so that the system comes to a stable condition where the generating capacity can meet the connected load demand. More particularly, it is desirable that any automatic reconnection is effected gradually to prevent over-loading of the system. Thus said predetermined frequency is preferably a frequency within a predetermined frequency band or bands, with the exact frequencies differing for different consumers. It is inevitable in practice that the exact frequency of operation in any practical system will vary slightly for different consumers. With a 50 Hz supply frequency, it might be arranged that the consumers are cut out at a frequency within the range of 46.5 to 48.5 Hz. Thus, as the frequency drops, some consumers will be

disconnected when the frequency falls to 48.5 and gradually more will have their switches opened as the frequency falls further; all or substantially all would have lost power by the time the frequency is down to 46.5. It is preferred to have automatic restoration of the power supply when the frequency rises and, to allow a margin to prevent switching on and off, the supply should be restored to a consumer when the frequency is slightly higher than the frequency at which it was previously cut off.

The load switching for consumers may be effected in two or more steps, switching off of part of the load occurring when the frequency has fallen to a first value and further switching being effected when the frequency falls to a second lower value.

It will be readily apparent that desirably all or substantially all consumers should have their power controlled in this way although it is obviously possible to provide safeguards for certain priority loads, such as hospitals, kidney machines etc. so that they remain connected to the supply despite the loss of frequency. Since the control means are now associated with the individual consumers and may if necessary be associated with individual loads, such priority facilities may be provided.

It has previously been proposed, see for example our U.K. Patent Application Serial No. 7901133, to effect measurement of energy consumption by a consumer supplied with alternating current power by making use of data processing means having a clock, controlling the data processing, which clock is synchronised with the incoming mains frequency. In such a system, employing a phase-lock loop to synchronise the clock frequency with the incoming mains, there is inherently a signal available representative of the incoming mains frequency. This signal may be used for controlling the aforementioned switch or switches for interrupting the supply of the load or loads on the consumer's premises. A phase-lock loop will commonly operate only over a limited frequency range and it is convenient to make the switch means operative to disconnect the load or loads when the phase-lock loop fails to maintain phase synchronisation due to a fall in frequency. If the phase-lock loop fails to maintain synchronisation, the phase error increases rapidly and this signal may be used for effecting switch control.

According to another aspect of the invention, in an a.c. electric power supply system having generating means arranged for supplying power to a plurality of consumers, at least some of said consumers are each provided with means for sensing when the power supply frequency falls below a predetermined frequency, and switch means for each consumer arranged for interrupting the power supply to at least part of that consumer's load in response to a sensed fall of frequency to below said predetermined frequency.

Each of said at least some consumers may have means operative to reconnect said at least part of that consumer's load to the supply in response to a sensed rise of the supply frequency above said predetermined frequency at which the switch means for that consumer was operated to interrupt the supply or above a higher frequency.

The aforementioned switch means may control supply to only part of a consumer's load and further switch means may be provided operatively responsive to sensed fall or frequency to a still lower value below that at which the first-mentioned switch means is operated.

The control switches are preferably solid state switches and may be switches provided for some other purpose, e.g. for automatic control to limit maximum demand. It will thus be seen that the protection of the system against a blackout due to demand exceeding the generating capacity can readily be provided on consumer's premises with little additional equipment beyond that which is installed for other purposes.

According to a further aspect of the present invention there is provided apparatus comprising means responsive to the frequency and alternating current electric power supply being fed to a load and switch means controlling the supply to the load which switch means are operative to cut off the supply when the frequency sensed by the frequency responsive means falls below a predetermined frequency. Preferably means are provided for automatically restoring the supply when the frequency rises above said predetermined value or above a higher frequency.

The switch means conveniently comprises a solid state switch or switches. The means responsive to the frequency of the incoming supply conveniently comprises an oscillator with a phase-lock loop for maintaining the oscillator output in synchronism with the incoming mains supply, said phase-lock loop being operative to maintain phase lock over a frequency range around the nominal frequency of the supply system but to lose lock when the frequency falls below a predetermined value; in this case the switch means may be made responsive to the loss of phase-lock in the loop.

The following is a description of one embodiment of the invention, reference being made to the accompanying drawings in which:-

Figure 1 is a block diagram illustrating part of an electricity supply system supplying alternating power to consumers;

Figure 2 is a graphical diagram for explaining the operation of part of the apparatus of Figure 1; and

Figure 3 illustrates a modification of part of the apparatus of Figure 1.

Referring to Figure 1 there is shown diagrammatically an electric power generating system having a number of generating stations 10, 11, 12 interconnected by a power distribution network indicated diagrammatically at 13 which network feeds a large number of consumers of which three are shown at 20, 21 and 22. The consumers 21, 22 are indicated only diagrammatically while consumer 20 is shown in slightly further detail as having a single phase supply on two leads 30, 31 leading a plurality of loads shown at 32, 33 and 34. In this particular example the loads 32 and 33 constitute the main loads of the consumer 20 whilst the load 34 is a small load required for certain essential purposes and which it is required not to interrupt if possible when protecting the system against a "blackout" due for

example to interruption or damage to a power line 15 connecting one of the generators 10 to the power distribution network 13. A solid state switch 36 is provided in the supply to the loads 32, 33, this switch being controlled by a switch control signal on a lead 37.

The present invention is concerned more particularly with the operation of such a switch to interrupt the power supply to consumers' loads in the event of a gross failure resulting in the power demand exceeding the generating capacity of the system. As previously explained, when this occurs, the frequency of the supply immediately begins to drop. It is convenient in the following description to refer more specifically to a supply at a nominal frequency of 50 Hz. It will be readily apparent however that similar arrangements can be employed for supplies at other frequencies, e.g. 60 Hz.

The apparatus in the consumer's premises includes a clock for digital data processing of information, which clock is normally synchronised with the incoming mains supply. This clock comprises essentially a voltage controlled oscillator 40 operating at a frequency which is a multiple of the mains supply frequency, typically several thousand times the mains supply frequency. The output of the oscillator 40, in digital form, is divided down in frequency by a digital divider 41 to provide, for example, short duration pulses to a sampler 42 for sampling the instantaneous magnitude of the voltage and current waveforms and thereby to provide data for metering means 43 determining the energy consumption of the consumer. The divider 41 provides an output signal at the mains supply frequency in the form of short duration pulses the timing of which is compared in a comparator 44 with the time of short duration pulses at the zero voltage crossover point of the incoming voltage waveforms on lines 30, 31. For this purpose there is a voltage transformer 45 across the lines 30, 31 having an output winding providing the voltage waveform to the comparator unit 43. The time difference determined by the comparator 43 is measured digitally utilising clock pulses from the divider 41 on a lead 46 and the digital output is a measure of the phase error between the clock frequency and the incoming waveform frequency. This phase error is integrated digitally in an integrator 47 to provide on a lead 48 the control signal for the voltage controlled oscillator 40. Such a phase control system operates to control the frequency of the oscillator 40 so that the output thereof is synchronised in phase with the incoming waveform. The phase error on the output from the comparator 43 is thus normally small so long as synchronisation is maintained. If synchronisation is lost however the phase error is increased. Loss of phase synchronisation can be arranged to occur as the frequency decreases at some predetermined frequency, for example by limiting the range of the output signal from the integrator 47. The sudden increase in phase error is applied to a control unit 50 to generate a control signal on the lead 37 for operating the switch 36 to interrupt the supply to the loads 32, 33.

It will be appreciated that there are many other

possible ways in which the reduction in frequency of the mains supply can be determined and utilised to operate a switch.

Figure 2 is a graphical diagram in which curve 60 shows the relationship between phase error (plotted as ordinates) and frequency (plotted as abscissa) for one particular form of phase-locked oscillator. As the frequency falls, the output of the oscillator gradually lags behind the incoming voltage waveform of the mains supply. At a frequency of 49 Hz, there is a phase error of 8°. The phase error is indicative of the control signal applied to the aforementioned voltage control oscillator 40. When some particular phase error has been reached, depending on the design of the equipment, the phase-lock loop will no longer be able to hold the frequency to give phase-lock with the incoming waveform. When this occurs, the phase error determined by the comparator 43 will increase and the switch 36 will be operated.

It is envisaged that, in general, all consumers should have a control for cutting off the load when the frequency drops, similar to that shown for consumer 20 of Figure 1. It is inevitable that the tolerances of the components in the phase-lock systems for different consumers will give some spread to the frequency at which the various switches 36 will operate. In a typical system, the spread might be over 2 Hz, e.g. from 46.5 Hz to 48.5 Hz with half the consumers losing power when the frequency has dropped to some intermediate value, typically 47.25 Hz. In Figure 2 a curve 65 is shown which is a distribution curve indicating the proportions of consumers which will lose lock at any particular frequency in the frequency range. It will be seen that all consumers remain in lock at frequencies above 48.5 Hz but, when the frequency is down to 46 Hz only a small proportion, about 5%, will be left on. This curve makes allowance for the fact that certain consumers or certain individual loads will not be switched off by the drop in frequency, their supplies being maintained for safety or other reasons. It may be that some consumers will have their phase-lock loops set to maintain phase down to significantly lower frequencies than others.

It will be immediately apparent that, in the event of some gross loss of power in the generating system, the resultant drop in frequency will immediately cause switches 36 at the various consumers to be opened so as to reduce load. In general the reduction in load will readily be made sufficient to maintain stability of the system provided some significant generating capacity still remains.

If the generating capacity is restored or if there is disconnection of loads still being fed with power, the frequency of the system will tend to rise. With the form of phase-lock loop described above for the consumer 20, when the frequency becomes sufficiently high, phase synchronisation will be re-established and hence the signal to the control unit 50 will be removed. In general, automatic restoration of the supply to the loads by closing the switch 36 would be effected by the control unit 50. Provision may be made however, for example, for automatic restoration of supply to certain loads but for restoration of supply to other loads only on manually

resetting switches. Because of the inherent hysteresis effect in the control loop, the frequency at which the restoration of power occurs will be higher than the frequency at which the power was switched off.

The dashed line curve 66 illustrates, for the particular embodiment under consideration, the numbers of consumers which will have power restored at the various different frequencies as the frequency rises. It will be noted that the frequency must rise to at least 49.5 Hz before the last load is restored. However restoration of loads commences as soon as the frequency begins to rise.

In the above-described embodiment of the invention, the failure of a phase-lock loop to maintain phase-lock between a clock signal generator and the incoming waveform has been utilised to control the switching. Such a phase-lock loop controlling a clock signal generator may form part of equipment for metering the power consumption of the individual consumer, as for example is described in the specification of Application No. 7901133. The switch 36 may be a switch utilised also for load management, e.g. for the automatic regulation of the maximum demand by the consumer, as is for example described in Specification No. 7906213. It will thus be seen that the protection for the system against a large-scale blackout due to for example sudden loss of generating capacity, can be obtained with very little additional equipment on the consumer's premises beyond that which may be installed for other purposes. The protection for the system is obtained by switching at the consumer's premises. No signalling over the transmission lines or by other means is required and there is no need to provide any special equipment at the generating stations or on the network apart from the equipment on the consumer's premises.

In Figure 3, there is shown a modified form of part of the apparatus of Figure 1 in which the switching off of parts of the load at a consumer's premises occurs in two stages. In Figure 3, the same reference characters are used as in Figure 1 to denote corresponding components and mention will be made only of the distinctive features of Figure 3. The consumer is shown as having a further load 70 which is of low priority. A triac switch 71 for cutting off the supply to this load 70 is controlled by a comparator 72 comparing the voltage output from the comparator 44 with a reference voltage from a reference source 73. This reference voltage is chosen so that the switch 71 is operated to cut the supply to load 70 when the frequency has fallen to some predetermined value intermediate between the normal supply frequency and the frequency at which the switch 36 operates. Partial load shedding in this way by a large number of consumers may often be sufficient to prevent any further frequency drop but the switches 36 would be operative in the event of serious overloading of the supply network.

## CLAIMS

1. A method of safeguarding an a.c. electric power supply system against the effects of power demand on the system exceeding the generating

capacity comprising the steps of, for each of a plurality of consumers, sensing when the power supply frequency falls below a predetermined frequency and interrupting the power supply to at least part of the load taken by each said consumer in response to a sensed fall of frequency to below said predetermined frequency.

2. A method as claimed in claim 1 wherein, for each consumer, said at least part of the load is reconnected to the supply when the frequency of the supply frequency rises above said predetermined frequency or above a higher frequency.

3. A method as claimed in either claim 1 or claim 2 wherein sensing when the power supply frequency falls below a predetermined frequency is effected by using a signal from a phase-lock loop arranged for synchronising an oscillator with the supply frequency.

4. A method as claimed in any of the preceding claims wherein said predetermined frequency is a frequency within a predetermined frequency band or bands, with the exact frequency differing for different consumers.

5. A method as claimed in any of the preceding claims wherein the load switching for consumers is effected in two or more steps, switching off of part of the load occurring when the frequency has fallen to a first value and further switching being effected when the frequency has fallen to a second lower value.

6. An a.c. electric power supply system having generating means arranged for supplying power to a plurality of consumers wherein, at least some of said consumers are each provided with means for sensing when the power supply frequency falls below a predetermined frequency, and switch means for each consumer arranged for interrupting the power supply to at least part of that consumer's load in response to a sensed fall of frequency to below said predetermined frequency.

7. An a.c. electric power supply system as claimed in claim 6 wherein each of said at least some consumers has means operative to reconnect said at least part of that consumer's load to the supply in response to a sensed rise of the supply frequency above said predetermined frequency at which the switch means for that consumer was operated to interrupt the supply or above a higher frequency.

8. An a.c. electric power supply system as claimed in either claim 6 or claim 7 wherein said means for sensing when the power supply frequency falls below a predetermined frequency comprises a phase-lock loop for maintaining the output of an oscillator in phase synchronisation with the incoming mains, said phase-lock loop being operative only to maintain synchronisation when the supply frequency is above said predetermined frequency and means for sensing loss of phase lock.

9. An a.c. electric power supply system as claimed in any of claims 6 to 8 wherein the switch means are solid state switches.

10. Apparatus for use by a consumer using power from an a.c. electric power supply system comprising means responsive to the frequency of the alternating current electric power supply being fed to a load and switch means controlling the

supply to the load which switch means are operative to cut off the supply when the frequency sensed by the frequency responsive means falls below a predetermined frequency.

11. Apparatus as claimed in claim 10 wherein said means for sensing when the power supply frequency falls below a predetermined frequency comprises a phase-lock loop for maintaining the output of an oscillator in phase synchronisation with the incoming mains, said phase-lock loop being operative only to maintain synchronisation when the supply frequency is above said predetermined frequency and means for sensing loss of phase lock.

12. Apparatus as claimed in either claim 10 or claim 11 and having means for automatically restoring the supply to said load when the frequency of the supply rises to a value above said predetermined frequency.

13. Apparatus as claimed in claim 12 wherein said switch means controls the power supply to part of a consumer's load and having further switch means operative at a different frequency for controlling the power supply to another part of the consumer's load.

14. A method of safeguarding an a.c. electric power supply system against the effects of power demand on the system exceeding the generating capacity substantially as hereinbefore described with reference to the accompanying drawings.

15. An a.c. electric power supply system having means for safeguarding the system against the effects of power demand on the system exceeding the supply substantially as hereinbefore described with reference to the accompanying drawings.

16. Apparatus for use by a consumer of electric power from an a.c. power supply system substantially as hereinbefore described with reference to the accompanying drawings.

Printed for Her Majesty's Stationery Office, by Croydon Printing Company Limited, Croydon, Surrey, 1982.  
Published by The Patent Office, 25 Southampton Buildings, London, WC2A 1AY, from which copies may be obtained.